

CIENCIA DEL SUELO

RESPUESTA DE LA SOJA (*GLICINE MAX* L. MERR) A ENMIENDAS BÁSICAS EN SUELOS DE LAS PROVINCIAS DE BUENOS AIRES Y SANTA FE

MABEL VÁZQUEZ[1-3]; ANTONINO TERMINIELLO[1]; ANDRÉS CASCIANI[2]; GUILLERMO MILLÁN[1]; DANIEL CÁNOVA[2], PABLO GELATI[1]; FACUNDO GUILINO[1]; ADRIAN DORRONZORO[2], ZACARÍAS NICORA[1], LUCIANO LAMARCHE[1] & MIRTA GARCÍA[1]

Recibido: 25-05-11
Recibido con revisiones: 27-12-11
Aceptado: 03-01-12

SOYBEAN (*GLICINE MAX* L. Merr) RESPONSE TO BASIC AMENDMENTS IN SOILS OF SANTA FE AND BUENOS AIRES PROVINCE

ABSTRACT

Soybean (*Glicine max* L. Merr) is a widespread crop in the Pampas region of Argentina and it is characterized by its high requirement of basic nutrients. Due to the acidification of some soils of this region, four field experiments were carried out in soils of moderate to high actual pH. The objectives of this study were to evaluate the effects of different rates and combination of amendments on soybean yield and yield components, as well as on soil chemical properties. The experimental design was in randomized complete blocks with a factorial arrangement. Treatments included rates between 0 and 2000 kg ha^{-1} of calcite/shells and dolomite, with and without gypsum addition (200 kg ha^{-1}). The variables evaluated were yield, number of grains/plant, 1.000 kernel weight and soil chemical variables (actual and potential pH, CEC and exchange cations, organic C and N, extractable P). The addition of basic amendments produced crop responses between 209,2 and 1.264 kg ha^{-1}; these responses were negatively related to pH and Ca, and showed a positive correlation with the production level. Crop yield responses could not be explained by the effect of only a few of its components. The changes that occurred in the edaphic properties were not related to the yield increase. Dolomite additions tended to produce greater crop responses, as well as the highest rates of both amendments. In P-deficient soils, a synergistic effect was observed when combining the amendment with P fertilizer.

Key words. Calcite/shell, dolomite, gypsum, exchange complex.

RESUMEN

La soja (*Glicine max* L. Merr) es un cultivo ampliamente difundido en la Región Pampeana argentina y se caracteriza por su elevada exigencia en nutrientes básicos. Dada la acidificación de algunos suelos de este ámbito, se realizaron 4 ensayos de campo en suelos de moderada a fuerte acidez actual. El objetivo fue evaluar la respuesta del rendimiento del cultivo y sus componentes, al agregado de distintas dosis y combinación de enmiendas, en asociación con cambios en las propiedades químicas edáficas. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con arreglo factorial. Los tratamientos consistieron de dosis entre 0 y 2000 kg ha^{-1} de caliza/conchilla y dolomita, con y sin adición de yeso (200 kg ha^{-1}). Se evaluaron rendimiento, N° granos/planta, peso de 1000 granos y variables químicas edáficas (pH actual y potencial, CIC y cationes intercambiables, C orgánico, N total, P extractable). El agregado de enmiendas básicas produjo incrementos de rendimiento que oscilaron entre 209,2 y 1264,0 kg ha^{-1}, asociados negativamente con el pH y el Ca intercambiable, y positivamente con el nivel de producción. Este incremento no puede ser explicado por su incidencia en sólo alguno de las componentes del rendimiento. Las modificaciones de las propiedades edáficas no tuvieron una asociación estricta con el aumento del rendimiento. Existe una tendencia de mayor respuesta al agregado de dolomita y a las mayores dosis de ambas enmiendas. La evaluación de la adición conjunta de enmienda combinada con P mostró sinergismo de la práctica en un suelo deficiente en este nutriente.

Palabras clave. Caliza/conchilla, dolomita, yeso, complejo de cambio.

1 Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. CC31. La Plata (CP 1900)
2 Consultores privados
3 E-mail: mvazquez@agro.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La acidificación de los suelos en el ámbito templado de la Región Pampeana argentina es ya un fenómeno probado (Casas, 2000; Vázquez *et al.*, 2000; Gelati & Vázquez, 2008). En esta región de 48.000.000 ha se concentra más del 80% de la producción agropecuaria argentina (MINAGRI, 2010). En dicha región la agricultura intensiva ha ido reemplazando progresivamente a los planteos mixtos de los sistemas productivos. Paralelamente se produjo una reducción del área sembrada con cultivos tradicionales como el maíz (*Zea mays* L.) y su reemplazo por otros de mayor atractivo económico como la soja (*Glicine max* L. Merr), de alto consumo de nutrientes básicos. El empleo de germoplasmas de elevados potenciales de rendimiento en general, en conjunto con los otros fenómenos mencionados, han sido factores fundamentales de este proceso. Adicionalmente contribuye al mismo, el considerable aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados. Esta degradación pone en peligro la sustentabilidad de los suelos (Casas, 2000; Martínez, 2002; Cruzate & Casas, 2003). La extracción de nutrientes básicos tiene una doble consecuencia sobre la acidez del suelo, pues a la pérdida de cationes se le adiciona la liberación de H^+ desde las raíces, a causa del intercambio de estos elementos con los coloides del suelo (Pereira Barbosa *et al.*, 2005). Randall *et al.* (2006) informan que son necesarios 28 kg y 35 kg de caliza o dolomita según su origen, para neutralizar la acidez provocada por 1 t de grano o de rastrojo de soja cosechadas, respectivamente, estimando que 75 años de cultivo de soja bajan 1 unidad el pH en suelos nigerianos. Cabe destacar que en circunstancias de acidificación, además de la disminución de la disponibilidad nutrientes como Ca^{2+} y Mg^{2+}, en general se produce un desbalance de bases, igualmente perjudicial para las plantas, especialmente para las leguminosas como la alfalfa (*Medicago sativa* L.), otros tréboles forrajeros y cultivos de cosecha como la soja (Bordoli, 2005; Vázquez, 2010a).

La superficie implantada del cultivo de soja ha crecido significativamente en los últimos años, pasando de 10,7 millones ha en la campaña 2000/01 a 18,5 millones en la campaña 2009/10, en este último caso con una producción de 52,7 millones t (MINAGRI, 2010). Si bien la frontera agrícola se ha extendido considerablemente, la Pradera Pampeana sigue concentrando la mayor parte de dicha producción. La exportación de nutrientes estimada para un rendimiento de 4000 kg ha^{-1} de soja es de 12, 11 y 76 kg de Ca, Mg y K, respectivamente (Gutiérrez Boem & Scheiner, 2005). Según Gelati & Vázquez (2008) la exportación regional para 10 partidos del norte de la provincia de Buenos Aires, considerando el período 1970-2003, representó un 6,9% del ingreso derivado de este cultivo, a valores actuales, si se repusiera la exportación con dolomita y KCl. La acidificación no sólo acarrea deficiencias de nutrientes básicos, sino que también produce perjuicios como la reducción de la disponibilidad de P y Mo, la actividad de microorganismos responsables de la nitrificación y fijación simbiótica de N, y hasta toxicidad de Al, en situaciones donde el pH es menor a 5,5. A través de todos estos mecanismos, es dable esperar reducción en el rendimiento de especies sensibles (Vázquez *et al.*, 2010). Estos perjuicios pueden revertirse con la aplicación de enmiendas básicas como las calizas o conchillas que aportan Ca, o las dolomitas que suministran Ca y Mg. Tanto calizas como dolomitas combinan estos elementos con carbonatos, por lo que se produce un aumento de pH. Estos productos son, sin embargo, de difícil solubilización. Por esta razón se ha difundido en otras partes del mundo la aplicación conjunta de yeso, una fuente más soluble de Ca inicial, que además se comporta como una base de Lewis, reduciendo la solubilidad del Al a pH ácido.

Se plantea como hipótesis que la aplicación de enmiendas básicas incide positivamente en el rendimiento de soja en forma variable de acuerdo a la dosis y tipo de producto utilizado. Esto ocurre en respuesta a propiedades químicas del complejo de cambio y la acidez. Así mismo, el agregado de enmiendas interactúa negativamente con la disponibilidad de P por lo que es necesario el empleo de fertilizantes en situaciones de deficiencia del nutriente. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la modificación del rendimiento de soja y sus componentes ante el agregado de distintas dosis de caliza/conchilla y dolomita, con o sin adición de yeso, en 4 suelos sojeros de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe, en asociación con cambios en las propiedades químicas edáficas. Paralelamente se pretende evaluar el sinergismo de la aplicación conjunta de P en situaciones de deficiencia del elemento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características generales de las áreas y ensayos experimentales

El trabajo fue realizado en 3 localidades ubicadas en la provincia de Buenos Aires y 1 en la provincia de Santa Fe. Las características generales de las áreas de estudio y los ensayos realizados se detallan a continuación:

Departamento Rosario (Santa Fe): el ensayo fue realizado en un suelo de tipo Argiudol vértico flia. fina, illitica y térmica, Serie Peyrano, en la localidad de Santa Teresa. El clima es templado subhúmedo isohigro, con temperatura media anual de 17,5 °C y 985 mm de precipitación (INTA, 1988). El diseño experimental fue en bloques completos al azar (4 repeticiones). Las dimensiones de la parcela fue de 10 x 10 m (20 surcos de siembra). Los tratamientos consistieron en la aplicación de dosis equivalentes a 0 (T), 700, 1500 y 2000 kg ha^{-1} de caliza (C700, C1500, C2000), dolomita (D700, D1500, D2000), y dolomita 1500 kg ha^{-1} con el agregado de 200 kg ha^{-1} de yeso (D1500y). Las enmiendas se aplicaron manualmente al voleo, en forma pulverulenta, 3 meses antes de la siembra y se incorporaron mediante rastra de disco. Los productos se caracterizaron por poseer 90% de $CaCO_3$ en el caso de la caliza y 53% de $CaCO_3$ y 47% de $MgCO_3$ en la dolomita. La granu-lometría de los productos fue: <75 µm: 48%, 75-250 µm: 20,5%, >250 µm: 32%. La siembra se realizó el 19/10/05, empleando la variedad: ADM 50048 previamente inoculada. En oportunidad de la cosecha y sobre 3 submuestras de 50 cm lineales/parcela se determinaron plantas/m lineal, a los fines de evaluar homogeneidad de siembra, y granos/planta. Sobre los 5 surcos centrales y 3,8 m lineales en cada uno, se evalúo peso de 1000 granos y rendimiento. Al cabo del ensayo se obtuvo 1 muestra de suelo compuesta/tratamiento integrada por 1 submuestra/parcela de cada bloque, en 3 estratos por separado (0-10, 10-20 y 20-40 cm) para evaluar el efecto de las enmiendas sobre las propiedades químicas edáficas.

Partido de Lincoln (Buenos Aires): el ensayo fue realizado en un suelo de tipo Hapludol thaptoárgico de la localidad de Roberts, Serie Ortiz de Rozas, flia. franca, fina, mixta y térmica. El clima es templado subhúmedo, de régimen isohigro, con temperatura media anual de 16,5 °C y 1018,5 mm de precipitación (INTA, 1993). El diseño experimental fue en bloques completos al azar (3 repeticiones). Las dimensiones de las parcelas fueron de 7 x 10 m (13 surcos de siembra). Los tratamientos consistieron de dosis equivalentes a 0 (T), 700 y 1500 kg ha^{-1}de conchilla (C700/P, C1500/P) y dolomita (D700/P, D1500/P), en combinación con 100 kg ha^{-1} de superfosfato triple. Se incluyó un tratamiento de aplicación de P sin enmienda (P). Las enmiendas fueron dispuestas manualmente al voleo, en forma pulverulenta, 4 meses antes de la siembra y se incorporaron mediante rastra de disco. La conchilla utilizada poseía 91% de $CaCO_3$ (granulometría: <75 µm:27%, 75-250 µm:40,5%, >250 µm:32,6%). La dolomita empleada se caracterizaba por tener 60% de $CaCO_3$, 32% de $MgCO_3$, con 6,6% de S (granulometría: <75 µm:48%, 75-250 µm:20,5%, >250 µm:32%). El 6/11/2005 se sembró soja Grupo III variedad Don Mario 3.700, previamente inoculada. En oportunidad de la cosecha y sobre 3 submuestras de 50 cm lineales/parcela, se determinaron plantas/m lineal a los fines de verificar homogeneidad de siembra, y número de granos/planta. Sobre los 5 surcos centrales, con el objetivo de descartar efecto de bordura, y 5 m lineales en cada uno, se evaluaron peso de 1000 granos y rendimiento en grano.

Partido de Saladillo (Buenos Aires): el ensayo fue realizado en un suelo de tipo Hapludol éntico de la localidad de Saladillo, Serie Bolivar, flia. franca gruesa, mixta, térmica. El clima es templado húmedo, con temperatura media anual de 16,5 °C. y 873 mm de precipitación (INTA, 1990). El diseño experimental fue en bloques completos al azar (3 repeticiones). Las dimensiones de las parcelas fueron de 7 x 15 m (20 surcos de siembra). Los tratamientos consistieron en la aplicación de dosis equivalentes a 0 (T), 553, 1.185 y 1.580 kg ha^{-1}de conchilla sola y con el agregado de yeso en una dosis de 200 kg ha^{-1} (C553, C553y, C1185, C1185y, C1580, C1580y), y dolomita en dosis de 700, 1500 y 2000 kg ha^{-1}, sólo y con el mismo agregado de yeso (D700, D700y, D1500, D1500y, D2000, D2000y). Se incluyó un tratamiento de aplicación de 200 kg ha^{-1} de yeso (Ty). Las enmiendas fueron aplicadas manualmente al voleo, en forma pulverulenta, 15 días antes de la siembra, incorporándose por lluvia al día siguiente de la aplicación. La conchilla y la dolomita empleadas fueron las mismas que en Roberts. El 15/10/2009 se sembró soja Grupo III variedad Don Mario 3700, previamente inoculada. En oportunidad de la cosecha y sobre 4 submuestras de 1 m lineal/parcela, se determinó plantas/m lineal, y sobre una de las 4 submuestras se obtuvo número de granos/planta y peso de 1000 granos, con el objetivo de determinar los componentes del rendimiento. Por otro lado, se tomaron 3 submuestras de 2 m cada una para medir rendimiento, en todos los casos las muestras se extrajeron de los 5 surcos centrales, para descartar el efecto de bordura. Al cabo del ensayo el suelo fue muestreado mediante 1 muestra de suelo compuesta/tratamiento integrada por 3 submuestras/parcela de cada bloque por separado, de 0-20 cm, para evaluar el efecto de las enmiendas sobre las propiedades químicas edáficas.

Partido de 25 de Mayo (Buenos Aires): el ensayo fue realizado en un suelo de tipo Hapludol éntico en la localidad de Norberto de la Riestra, Serie Bolivar. El clima es templado, con temperatura media anual de15,3 °C y 910 mm de precipitación anual (INTA, 1997) El diseño experimental fue en bloques completos al azar (3 repeticiones). Las dimensiones de las parcelas fueron de 5 x 10 m (12 surcos de siembra). Los tratamientos consistieron en la aplicación de dosis equivalentes a 0 (T), 700, 1500 y 2000 kg ha^{-1}de conchilla sola (C700, C1500, C2000) y con el agregado de yeso en una dosis de 200 kg ha^{-1} (C700y, C1500y, C2000y), y dolomita en dosis de 700, 1500 y 2000 kg ha^{-1}, sóla (D700, D1500, D2000) y con el mismo agregado de yeso (D700y, D1500y, D2000y). Se incluyó un

tratamiento de aplicación de 200 kg ha^{-1} de yeso (Ty). Las enmiendas fueron distribuidas manualmente al voleo, en forma pulverulenta 1 mes antes de la siembra, incorporándolas por medio de rastra de disco. La conchilla y la dolomita empleadas fueron las mismas que en Roberts. Si bien el ensayo se inició en 2008, debido a la intensa sequía de la campaña 2008/09, se perdió prácticamente la cosecha de ese año. Por tal motivo se realizó una nueva siembra el 08/11/2009, sin reencalado, cuyos resultados son los analizados en este trabajo. Se trata de un lote con periódicas fertilizaciones fosforadas en el pasado, siendo la última, efectuada en 2007. El material genético usado fue soja Grupo IV variedad Nidera 4613, sin fertilización. En el momento de cosecha se tomaron 3 submuestras por metro lineal/parcela, se determinó plantas/m lineal, N° de granos/ planta y peso de 1000 granos, con el objetivo de determinar los componentes del rendimiento. Por otro lado, se tomaron 3 submuestras de 2 m cada una para medir rendimiento, en todos los casos las muestras se extrajeron de los 5 surcos centrales, para descartar el efecto de bordura. Al cabo del ensayo el suelo fue muestreado mediante 1 muestra compuesta/tratamiento integrada por 3 submuestras/parcela de cada bloque y profundidad (0-20 y 20-40 cm) por separado, para evaluar el efecto de las enmiendas sobre las propiedades químicas edáficas.

Análisis de suelo

Los suelos fueron analizados a diferentes profundidades para su descripción previo a los ensayos (Tabla 1). En los ensayos realizados en Santa Teresa (Tabla 2), Saladillo (Tabla 3) y Norberto de la Riestra (Tabla 4) se evaluaron diferentes propiedades químicas de los suelos a posteriori de los ensayos. Los análisis químicos de suelo realizados fueron los siguientes: C orgánico por digestión húmeda y valoración por volumetría redox con Sal de Mohr; N total por digestión húmeda y determinación por destilación Kjeldahl; textura por densimetría según Boyoucos; pH actual por el método potenciométrico, relación suelo:agua de 1:2,5; pH potencial por el método potenciométrico, relación suelo: KCl 1M de 1:2,5; CIC y cationes intercambiables por el método del acetato de NH_4 pH 7 1N, determinación de CIC por destilación Kjeldahl, Ca y Mg por complejometría con EDTA, K y Na por fotometría de llama; P extractable por extracción con HCl 0,025M y NH_4F 0,03M, evaluación por absorción molecular en frío (Método de Bray

Tabla 1. Datos analíticos previos a la aplicación de los tratamientos de los suelos Argiudol vértico de la localidad de Santa Teresa, departamento de Rosario, provincia de Santa Fe; Hapludol thaptoárgico de la localidad de Roberts, partido de Lincoln; Hapludol éntico de la localidad de Saladillo, Partido homónimo, Hapludol éntico de la localidad de Norberto de la Riestra, partido de 25 de Mayo, provincia de Buenos Aires.

Table 1. Analytical information previous to treatment applications of a Vertic Argiudoll soil at the Santa Teresa site, Rosario Department, Santa Fe Province; a Thaptoargic Hapludoll soil at the Roberts site, Lincoln County; an Entic Hapludoll soil at the Saladillo site, homonym County; an Entic Hapludoll soil at the Norberto de la Riestra site, 25 de Mayo County, Buenos Aires Province.

	Sitio experimental											
	Santa Teresa (Rosario)			Roberts (Lincoln)		Saladillo (Saladillo)					N. de la Riestra (25 de Mayo)	
	Profundidad (cm)											
	0-10	10-20	20-40	0-20	20-40	0-18	18-28	28-57	57-108	+108	0-20	20-40
pH agua (1:2,5)	5,7	5,8	6,0	5,7	6,3	5,3	5,4	6,0	6,0	6,2	5,4	5,9
pH potencial (1:2,5 KCl 1N)	5,1	5,3	5,3	5.4	5.7	4,5	4,8	5,0	5,0	5,0	4,7	5,2
CO (mg kg^{-1})	16	13	nd	12	nd	7	nd	nd	nd	nd	26	nd
N total (mg kg^{-1})	2,1	nd	nd	1,4	nd	0,5	nd	nd	nd	nd	1,8	nd
CIC (cmolc kg^{-1})	19,6	16,7	21,5	14,1	12,7	5,4	8,3	5,9	4,6	7,0	14,9	12,7
Cationes de cambio (cmolc kg^{-1})												
Ca^{2+}	8,5	9,4	11,3	7,9	8,3	3,5	4,4	3,5	2,9	5,5	7,8	6,6
Mg^{2+}	1,8	2,4	2,5	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,8	0,7	2,4	3,1
Na^{+}	0,7	0,8	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
K^{+}	1,1	0,8	1,1	2,0	1,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,7	1,6	1,4
Al^{3+} (mg kg^{-1})	0,7	nd	nd	2,6	nd	1,3	nd	nd	nd	nd	3,1	nd
Suma bases	12,1	13,4	15,7	11,4	11,7	5,2	5,7	5,3	4,4	7	12	11,3
S (%)	61,5	80,1	73,2	80,9	92,1	96,3	68,7	89,8	95,6	100,0	80.5	89
P extractable (mg kg^{-1})	24	nd	nd	11	nd	33	nd	nd	nd	nd	17,5	nd
Clase textural	Fr-l	Fr-l	Fr-a-l	Fr	Fr	Fr-A	Fr-A	Fr-A	A-Fr	Fr-A	Fr-l	Fr

Referencias: S: saturación básica = (Ca+Mg+K+Na)*100/CIC). fr: franco; l: limoso; a: arcilloso; A: arenoso; nd: no determinado.

Tabla 2. Datos analíticos del suelo Argiudol vértico de la localidad de Santa Teresa, departamento de Rosario, provincia de Santa Fe, después de la cosecha.

Table 2. Analitycal information after harvest of the Vertic Argiudoll soil at the Santa Teresa site, Rosario Department, Santa Fe Province.

Tratamiento	Profundidad	pH agua	pH potencial	CIC	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ca^{2+*}	Mg^{2+*}	S
	cm			cmolc kg^{-1}			%		
T	0-10	5,4	5,00	14,2	6,5	3,2	59,1	20,9	77,5
	10-20	5,7	5,2	17,8	7,7	2,7	67,5	21,2	64,0
	20-40	6,0	5,2	21,0	10,1	3,6	66,9	23,9	71,9
C700	0-10	5,8	5,2	15,5	8,5	1,6	75,2	23,0	72,9
	10-20	5,8	5,2	17,0	11,2	3,4	70,9	22,5	92,9
	20-40	6,4	5,3	23,4	10,1	3,3	67,3	23,4	64,1
C1500	0-10	5,7	5,2	14,3	7,8	2,2	65,5	23,1	83,2
	10-20	6,0	5,3	14,9	8,8	1,5	77,2	25,6	76,5
	20-40	6,0	5,2	18,8	10,9	3	71,7	29,2	80,9
C2000	0-10	5,5	5,3	14,3	8,1	1,9	71,7	21,0	79,0
	10-20	5,9	5,2	14,0	9,5	2,7	70,4	26,8	96,4
	20-40	6,2	5,3	20,6	9	2,2	73,8	26,2	59,2
D700	0-10	5,6	5,2	15,0	7,7	2,3	68,1	24,3	75,3
	10-20	5,7	5,1	17,4	8,2	1,9	74,5	28,6	63,2
	20-40	5,6	5,2	20,0	9,4	3,3	66,7	22,4	70,5
D1500	0-10	5,9	5,3	12,6	7,1	2,9	61,7	23,7	91,3
	10-20	5,9	5,2	14,6	8,8	2,2	72,7	25,2	82,9
	20-40	6,3	5,3	15,2	11	3,8	67,1	26,6	100,0
D2000	0-10	5,6	5,1	14,5	6,7	2,2	67,7	24,4	68,3
	10-20	5,8	5,2	12,2	8,5	2,9	67,5	27,5	100,0
	20-40	6,3	5,3	21,3	11,7	4,2	66,9	21,9	82,2

Referencia: S: saturación básica = (Ca+Mg+K+Na)*100/CIC. T:testigo, C:caliza, D:dolomita. 700, 1.500 y 2.000 kg ha^{-1}.
* Saturación cálcica = Ca *100/(Ca+Mg+K+Na); Saturación magnésica = Mg *100/(Ca+Mg+K+Na).

Tabla 3. Datos analíticos del suelo Hapludol éntico de la localidad de Saladillo, Partido homónimo, provincia de Buenos Aires, después de la cosecha a una profundidad de 0-20 cm. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) entre tratamientos.

Table 3. Analitycal information of the Entic Hapludoll soil at the Saladillo site, homonym District, Buenos Aires Province, after harvest at a depth of 0-20 cm. Different letters represent significant statistical differences among treatments ($p< 0.05$).

Tratamiento	pH agua	H potencial	CIC	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ca^{2+*}	Mg^{2+*}	S
			cmolc kg^{-1}			%		
T	5,4 a	4,8 a	6,0 a	2,9 a	0,9 a	58,4	18,1	83,0
D700	5,6 a	5,0 a	6,3 a	3,4 a	1,1 a	61,8	19,4	85,9
D2000	5,7 a	5,2 a	6,7 a	3,9 a	0,9 a	65,7	15,3	88,5

Referencia: S: saturación básica = (Ca+Mg+K+Na)*100/CIC. T:testigo, D:dolomita. 700 y 2.000 kg ha^{-1}.
* Saturación cálcica = Ca *100/(Ca+Mg+K+Na); Saturación magnésica = Mg *100/(Ca+Mg+K+Na).

Tabla 4. Datos analíticos del suelo Hapludol éntico de la localidad de Norberto de la Riestra, departamento de 25 de Mayo, provincia de Buenos Aires, después de la cosecha. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) entre tratamientos.

Table 4. Anaytical information of the Entic Hapludoll soil at the Norberto de la Riestra site, 25 de Mayo District, Buenos Aires Province, after harvest. Different letters represent significant statistical differences among treatments ($p<0.05$).

Trat.	Prof. cm	pH agua	pH potencial	CIC	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ca^{2+*}	Mg^{2+*}	S
				cmolc kg^{-1}			%		
T	0-20	5,6 ab	5,0 ab	15,4 a	7,9 d	2,2 a	67,1	18,8	76,7
Ty		5,5 a	4,9 a	17,4 bc	7,3 bc	2,3 a	64,7	20,7	64,9
C700		5,8 bc	5,1 bcdef	17,1 bc	7,9 d	2,2 a	67,4	18,5	69,1
C700y		5,6 ab	5,0 abcd	17,4 bc	8,6 ef	3,8 cdef	59,5	26,6	82,5
C1500		5,7 abc	5,2 cdef	17,5 bc	9,6 gh	3,3 bcde	64,6	22,3	85,2
C1500y		5,7 bc	5,1 bcdef	16,0 ab	10,3 h	2,5 ab	69,7	16,8	92,3
C2000		5,9 c	5,2 f	16,6 b	8,1 de	4,3 ef	56,9	30,5	85,5
C2000y		5,8 bc	5,2 ef	17,0 bc	8,7 f	4,9 f	55,6	31,5	91,9
D700		5,7 abc	5,1 abcde	16,6 b	8,1 de	4,1 def	57,5	29,2	85,0
D700y		5,6 ab	5,0 abc	17,8 c	8,2 def	3,4 bc	60,5	24,9	76,2
D1500		5,7 abc	5,2 ef	16,8 bc	7,9 cde	4,3 def	56,3	30,6	83,8
D1500y		5,6 ab	5,0 abcde	17,6 bc	8,8 efg	3,2 bcd	63,5	23,2	79,0
D2000		5,8 bc	5,2 def	17,9 c	6,5 a	6,3 g	44,2	42,5	82,1
D2000y		5,7 abc	5,1 bcdef	17,9 c	7,0 ab	5,8 g	47,5	39,0	82,9
T	20-40	5,9 a	5,2 a	12,8 ab	6,7 b	3,2 c	58,3	27,6	89,5
Ty		5,8 a	5,2 a	13,5 abcde	6,7 b	3,0 bc	58,2	26,1	86,0
C700		5,9 a	5,3 ab	13,9 cdef	6,4 a	3,9 fg	53,8	32,6	84,9
C700y		6,0 a	5,2 ab	13,0 abc	8,1 f	2,6 a	64,2	20,5	97,3
C1500		6,0 a	5,3 ab	14,1 def	6,2 a	4,6 i	49,6	36,7	87,8
C1500y		6,0 a	5,2 ab	12,9 ab	6,7 b	3,0 b	58,2	25,7	89,9
C2000		6,0 a	5,3 ab	14,6 f	8,2 f	2,6 a	64,5	20,7	86,9
C2000y		6,0 a	5,4 b	14,1 ef	8,7 d	4,9 fg	67,2	38,1	179,3
D700		6,0 a	5,2 ab	12,7 a	7,1 d	3,7 ef	56,3	29,3	99,9
D700y		6,0 a	5,2 ab	12,6 a	6,4 a	4,4 h	50,4	34,7	99,9
D1500		5,9 a	5,2 ab	13,8 bcdef	7,5 e	3,4 d	59,5	26,8	91,4
D1500y		6,0 a	5,3 ab	13,3 abcde	7,0 cd	3,6 e	56,8	29,4	93,1
D2000		6,0 a	5,3 ab	13,5 abcde	6,8 bc	4,0 g	53,9	31,3	93,8
D2000y		6,0 a	5,3 ab	13,2 abcde	7,9 f	2,5 a	65,1	20,7	92,6

Referencia: S: saturación básica = (Ca+Mg+K+Na)*100/CIC. T:testigo, C:conchilla, D:dolomita. 700, 1.500 y 2.000 kg ha^{-1}.
* Saturación cálcica = Ca *100/(Ca+Mg+K+Na); Saturación magnésica = Mg *100/(Ca+Mg+K+Na)

y Kurtz N°1 modificado). Las determinaciones precedentes se llevaron a cabo mediante metodología desarrollada por el SAMLA (SAGPyA, 2004). El Al intercambiable fue extraído con KCl 1M y determinado por absorción molecular con espectrofotómetro UV (Bertsch & Bloom, 1996).

Análisis estadístico

Se realizó análisis paramétrico de la varianza de las variables medidas y comparación de medias por el Test de Diferencias Mínimas Significativas ($p< 0,05$), previo análisis de cumplimiento de supuestos básicos (Mendenhall *et al.*, 1986) (software INFOSTAT 2011). En el caso de análisis de suelo de una propiedad a diferentes profundidades, dichos análisis se hicieron por separado para cada profundidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acidez y bases de cambio de los suelos ensayados

De acuerdo a los resultados de la Tabla 1, puede apreciarse que los sitios utilizados para los ensayos se caracterizan por tener un pH actual (suelo: agua 1:2,5) superficial calificado como moderadamente a fuertemente áci-

do (Schoeneberger *et al.*, 2000). Si bien este nivel de acidez estaría dentro del rango de tolerancia (4,5-7) para la especie, se encontraría por debajo del rango óptimo de 6-7 (Vázquez, 2007). Dentro de las leguminosas la soja fue considerada de mediana a baja sensibilidad a la acidez (Evans & Kamprath, 1970). Sin embargo, el nivel crítico de pH informado por diferentes autores es muy variable y posiblemente esté relacionado con otras propiedades edáficas como los niveles de Al y Mn (Rhoads & Manning, 1989), el contenido de materia orgánica y particularmente, el material genético utilizado (Rosolem, 1984; Bordoli & Casanova, 2004). Weisz *et al.* (2003) verificaron incrementos de rendimiento hasta valores de pH 6,0 en suelos de Carolina del Norte en EEUU, Pierce (2000) informó un valor crítico de 5,9 en suelos de Michigan por debajo del cual habría respuesta al encalado, Bell (1996) sugirió que dicho valor es 5,1 en suelos de Louisiana de alta meteorización, mientras que Caires *et al.* (1998) no obtuvo respuesta aún con niveles de pH de 4,5 y 32% de saturación de bases en Brasil. Estos antecedentes sugieren que el pH puede tener connotaciones distintas en diferentes tipos de suelos y sistemas productivos, mostrando lo inconveniente de la extrapolación de niveles críticos para la especie.

Cabe señalar que la magnitud del pH potencial (suelo: KCl 1:2,5) de los suelos estudiados, entre 4,5 y 5,4, sugiere que dichos suelos poseen elevada peligrosidad de acidificación en el futuro, de no mediar una adecuada reposición de bases. Desde el punto de vista de la dotación de las bases, puede decirse que las situaciones evaluadas en Rosario, N. de la Riestra y Roberts se caracterizan por cantidades absolutas adecuadas de Ca, Mg y K, mientras que en Saladillo, los contenidos son bajos, asociados a la condición textural, según los rangos citados por Vázquez (2010a). En general los porcentajes de saturación de las distintas bases están desequilibrados, señalando exceso relativo de K y en menor medida de Mg, en relación al Ca, conforme a la misma autora. Si bien los valores de Al^{3+} (Tabla 1) son inferiores a los niveles de toxicidad citados en la literatura (Bertsch, 1998), en los suelos de N. de la Riestra, Roberts y Saladillo, la concentración de este elemento es superior a los valores consignados en varios suelos ácidos del mismo ámbito por Millán *et al.* (2010). Cabe destacar que el pH de estos suelos no permite presuponer toxicidad de Mn por lo que este elemento no fue analizado en este trabajo.

Efecto de las enmiendas sobre el rendimiento y sus componentes

En la Figura 1 se presentan los resultados de rendimiento en grano para los diferentes sitios de estudio y su análisis estadístico. En la Tabla 5 se ilustran los resultados de los componentes de rendimiento evaluados en cada caso y su análisis estadístico.

Los tratamientos afectaron en forma variable el rendimiento en cada sitio experimental, demostrando la complejidad de la relación entre el aporte de las enmiendas y la respuesta del cultivo. Esto aconteció en el marco de rendimientos muy variables. El rendimiento de los testigos fue de 3382,3 (Santa Teresa), 3604,6 (N. de la Riestra), 3930,8 (Roberts) y 4769,0 kg ha^{-1} (Saladillo), demostrando aptitudes productivas disímiles entre los sitios ensayados, en parte asociadas a condiciones climáticas particulares en cada caso y materiales genéticos también variables. Sin embargo, cabe destacar que los máximos incrementos de producción obtenidos por la práctica se encuentran parcialmente asociados a los niveles de los testigos. Esos incrementos fueron de 209,2 (D2000); 746,5 (D2000); 720,5 (D700/P) y 1264,0 (D2000y) kg ha^{-1}, en Santa Teresa, N. de la Riestra, Roberts y Saladillo, respectivamente. Es decir, situaciones con menores limitaciones de producción son más eficientes en el uso del insumo aplicado. Estos resultados concuerdan con experiencias realizadas con leguminosas en suelos ácidos de Uruguay (Casanova, 2010). Debe considerarse paralelamente, que los contenidos de Ca y Mg intercambiables del suelo del sitio donde se encontró la mayor respuesta al agregado de las enmiendas (Saladillo), posee en superficie valores de 3,5 y 0,8 cmolc kg^{-1}, respectivamente, de ambos elementos, cifras considerablemente inferiores al resto de los suelos ensayados. Asimismo, el pH actual en este suelo fue el menor de las situaciones estudiadas (Tabla 1).

La respuesta de este cultivo al encalado puede ser muy variable, de acuerdo a otros antecedentes bibliográficos. Caires *et al.* (1998, 2003, 2008a, 2008b), no encontraron respuesta significativa en el rendimiento en suelos marcadamente ácidos, fundamentalmente bajo siembra directa, aún en situaciones donde las enmiendas produjeron aumentos de pH, de disponibilidad de Mo y en consecuencia fijación biológica de N. Otros autores, por el contrario, como Board & Caldwell (1991), Oliveira & Pavan (1994), Bordoli & Casanova (2004), Gambaudo & Micheloud (2003), Gambaudo *et al.* (2007), informaron efectos positivos de la práctica con cantidades muy reducidas de enmienda (González & Gambaudo, 2003). Bacigaluppo *et al.* (2006) encontraron que las variaciones de rendimiento en soja en suelos del sur de Santa Fe deben atribuirse en un 63-83% a variaciones del ambiente y su interacción con el material genético usado. Dentro de los factores

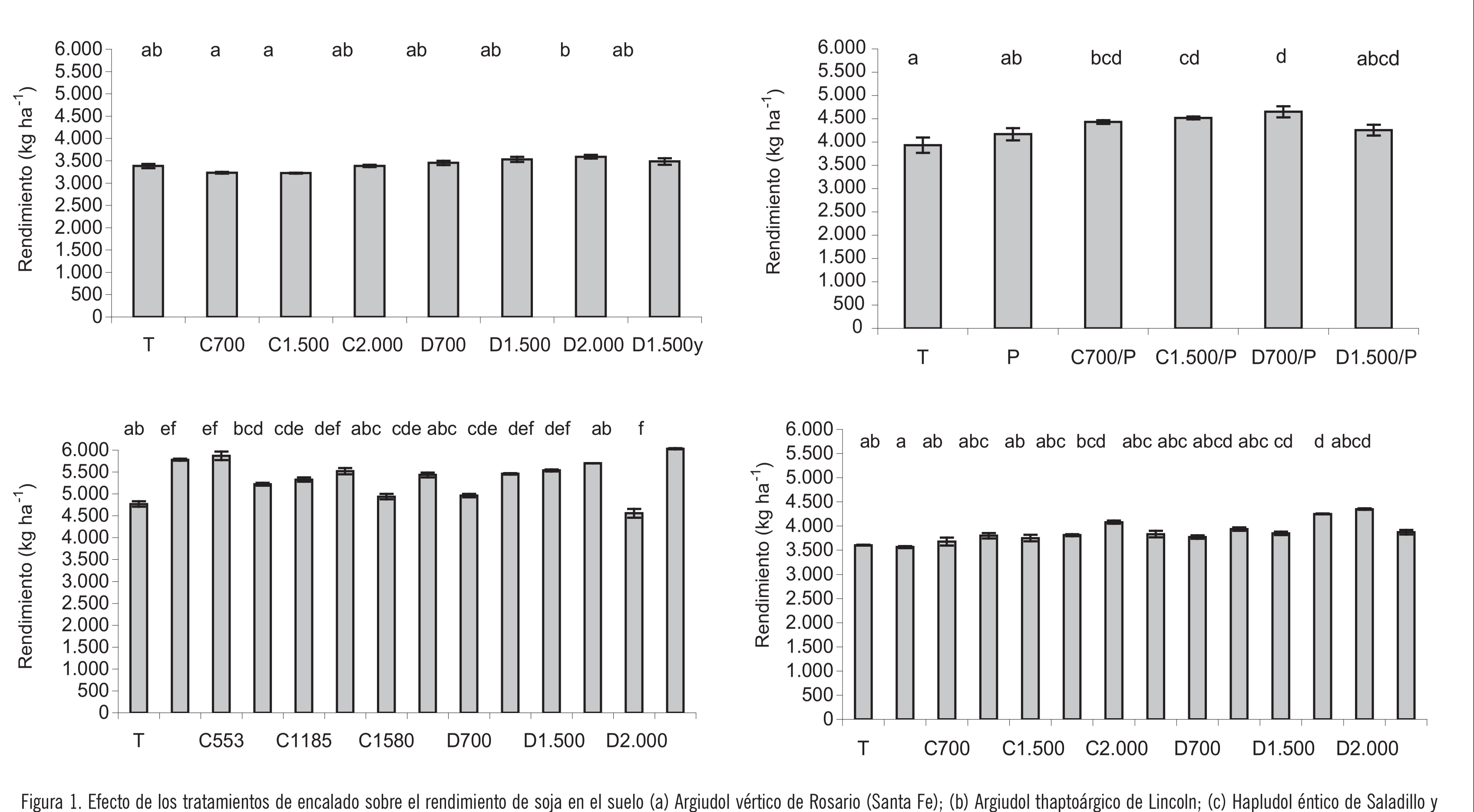


Figura 1. Efecto de los tratamientos de encalado sobre el rendimiento de soja en el suelo (a) Argiudol vértico de Rosario (Santa Fe); (b) Argiudol thaptoárgico de Lincoln; (c) Hapludol éntico de Saladillo y (d) Hapludol éntico de Norberto de la Riestra (Buenos Aires) (Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) entre tratamientos).

Referencia: T:testigo; C:caliza; D:dolomita; y:yeso. Dosis en kg ha^{-1}

Figure 1. Effect of liming treatments on soybean yield in (a) the Vertic Argiudoll soil in Rosario (Santa Fe); (b) the Thaptoargic Argiudoll soil in Lincoln; (c) the Entic Hapludoll soil in Saladillo, (d) the Entic Hapludoll soil in Norberto de la Riestra (Buenos Aires). Different letters indicate statistically significant differences ($p<0.05$) among treatments.

Tabla 5. Efecto de los tratamientos de encalado sobre las componentes de rendimiento en los distintos sitios experimentales. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) entre tratamientos.

Table 5. Effect of liming treatments on yield components in the different experimental sites. Different letters indicate significant statistical differences ($p<0.05$) among treatments.

Tratamiento	Peso 1.000 granos (g)	Número de granos/planta	Tratamiento	Peso 1.000 granos (g)	Número de granos/planta
Santa Teresa (Rosario)			Roberts (Lincoln)		
T	153,1 b		T	169,57 ab	69,91 a
C700	147,4 ab		P	179,99 b	84,82 b
C1500	146,4 ab		C700/P	178,76 b	87,65 b
C2000	150,5 b		C1500/P	169,57 ab	81,21 ab
D700	149,1 ab		D700/P	165,48 a	93,17 b
D1500	152,9 b		D1500/P	171,93 ab	87,72 b
D2000	151 b				
D1500y	140,9 a				
Saladillo (Saladillo)			N. de la Riestra (25 de Mayo)		
T	164,6 a	47,1 a	T	165,3 a	60,3 c
Ty	167,2 a	63,0 abc	Ty	167,1 ab	55,2 abc
C 553	158,0 a	56,2 ab	C700	169,5 abc	46,7 ab
C 553y	169,2 ab	59,0 abc	C700y	168,8 abc	64,8 c
C 1185	156,9 a	47,4 a	C1500	171,1 abcd	46,2 a
C 1185y	167,6 a	57,6 ab	C1500y	167,6 abc	57,4 abc
C 1580	161,8 a	50,9 ab	C2000	172,3 bcd	64,9 c
C 1580y	162,0 a	65,9 abc	C2000y	175,3 d	60,1 bc
D 700	155,4 a	47,7 ab	D700	172,1 bcd	57,2 abc
D 700y	160,7 a	81,3 c	D700y	173,1 cd	56,8 abc
D 1500	159,2 a	71,8 bc	D1500	171,5 bcd	57,6 abc
D 1500y	163,3 a	67,1 abc	D1500y	172,5 bcd	64,9 c
D 2000	154,6 a	53,0 ab	D2000	171,6 bcd	60,4 c
D 2000y	186,9 b	51,0 ab	D2000y	170,8 abcd	52,9 abc

ambientales los autores destacan a la precipitación en los períodos floración-llenado de grano y la radiación entre los climáticos, y a la materia orgánica, la conductividad hidráulica y la presencia de estados masivos, entre los edáficos. Estos antecedentes sugieren que no existirían umbrales definidos de factores ambientales, entre los que podrían ubicarse a la acidez del suelo y al contenido de Al, para establecer potencialidad de respuesta de la especie al encalado, sino que dicha respuesta estará condicionada por la particular interacción de estos factores del ambiente con el genotipo en cada caso. Hashimoto *et al.* (2007) informó que diferentes cultivares de soja poseen umbrales distintos de concentraciones de Ca y Mg para la inducción de la secreción de citrato por las raíces. Este compuesto es capaz de complejar al Al, modificando la resistencia de dichos cultivares a la toxicidad causada por este elemento. Esto pone de manifiesto que el material genético es una de las variables que puede conducir a resultados distintos en los diferentes ensayos a través del mencionado mecanismo. Si bien los materiales genéticos utilizados en estos ensayos no están evaluados por su adaptabilidad a las condiciones de acidez edáfica por las firmas comercializadoras ni por las redes de ensayos comparativos de rendimientos, cabe destacar que la soja utilizada en la localidad de Santa Teresa (Rosario; ADM 50048) fue considerada de alta estabilidad de rendimiento en múltiples ambientes. Este hecho podría contribuir a explicar los resultados obtenidos en este sitio experimental, donde se obtuvo la menor respuesta al agregado de enmiendas, aspecto que será tratado más adelante.

Con respecto a la incidencia relativa de los productos aplicados, existiría una tendencia de mayor respuesta a la dolomita, situación comparable a lo hallado por Vázquez *et al.* (2010b) en alfalfa. Esto acontece en suelos que

poseerían, conforme a niveles citados en la literatura, concentraciones relativas de Mg superiores a las normales, en particular frente a Ca, lo que no coincide con la mayor respuesta al agregado de dolomita frente a caliza/conchilla. Esto podría deberse a que los $MgCO_3.CaCO_3$, constituyentes mayoritarios de la dolomita, poseen –de acuerdo con cálculos teóricos de equivalencia– mayor poder de neutralización que los $CaCO_3$ contenidos en la caliza/conchilla. Alcarde & Rodella (1996) demostraron que la presencia de fosfatos, sulfatos o de cristales de Si en las enmiendas, podrían modificar esta equivalencia teórica. Adicionalmente, por tratarse de productos de minería, sería factible que otros componentes de estas enmiendas tuvieran un efecto secundario sobre los rendimientos. En particular la dolomita empleada en este trabajo posee 25 mg kg^{-1} de Zn y 126 mg kg^{-1} de Mn. De acuerdo a Gutiérrez Boem & Scheiner (2005) el cultivo de soja requiere 60 y 150 g t^{-1}, respectivamente, de estos 2 elementos. En 3 de los ensayos (Santa Teresa, Saladillo y N. de la Riestra), existe una tendencia de mayor respuesta a la dolomita y en su mayor dosis (2000 kg ha^{-1}), sola o en combinación con yeso.

La respuesta a la aplicación conjunta de carbonatos y yeso, causó resultados variables. Mientras que en el ensayo de Saladillo existiría una tendencia al aumento de rendimiento para la aplicación conjunta en todas las dosis de dolomita y en 2 de las 3 dosis de caliza (1185 y 1580 kg ha^{-1}), en N. de la Riestra y Santa Teresa, no se registraría dicho efecto. El yeso se comporta como una base de Lewis, promoviendo la precipitación del Al y formando polímeros de este elemento (Mitsuru *et al.*, 1999), reduciendo su toxicidad característica en suelos ácidos (Zapata Hernández 2004). Los suelos acidificados por uso tienen menos Al intercambiable que aquellos cuya acidez deviene de procesos genéticos naturales, a causa de mayor meteorización de arcillas en esos últimos, aspecto concordante con los contenidos de Al^{3+} intercambiable registrados en este trabajo (Tabla 1). Sin embargo, se ha podido comprobar, que una arcilla saturada de H^+, producto del reemplazo de iones X^+ y X^{++} de los sitios de intercambio, no resulta estable; la red cristalina colapsa y libera Al^{3+}, Mn^{2+} y Fe^{3+} (Zapata Hernández, 2004), particularmente en arcillas de tipo 2:1, entre ellas la vermiculita (Kass, 2007). Estos antecedentes, así como la reducción del contenido de Al^{3+} intercambiable causada por las enmiendas para suelos de la región (Millán *et al.*, 2010), no permitirían descartar el beneficio del agregado del yeso a través de este mecanismo. El yeso constituye, además, una fuente rápida de Ca soluble y $SO_4^{=}$ (Caires *et al.*, 2003), particularmente importantes en las leguminosas. Esta sal podría tener, además, potencial acción solubilizadora de los carbonatos contenidos en calizas y dolomitas (Millán *et al.*, 2010), dado el reducido movimiento en profundidad de los carbonatos en el mediano plazo (Caires *et al.*, 2008 a). A valores de pH 5,3-5,5 el Al forma $Al(OH)_3$ precipitado y por debajo de él se forman especies solubles, capaces de ser intercambiadas (Al^{3+}, $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^{+}$) (Zapata Hernández, 2004). El suelo de Saladillo posee un valor de pH actual en superficie de 5,3, el más bajo de los estudiados y adicionalmente, inferior al pH de solubilización del Al. Este hecho podría justificar los resultados. Dada la interacción negativa entre el encalado y la disponibilidad de P (Vázquez *et al.*, 2010), se utilizó fertilizante fosforado de base en el ensayo realizado en Roberts. En este sitio experimental con el menor contenido de P extractable dentro de los estudiados, pudo verificarse (Fig. 1) que si bien la aplicación de P tuvo una tendencia al aumento de rendimiento (NS), el tratamiento de mayor respuesta (D700/P) tuvo diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) respecto del tratamiento con aplicación de P solo, mostrando el sinergismo de la práctica en situaciones deficientes.

Los componentes del rendimiento evaluados, Nº granos/planta y peso de 1000 granos, fueron afectados por los tratamientos, aunque en forma variable de acuerdo al ensayo. El peso de 1000 granos mostró cierta asociación con el nivel de producción de los testigos del ensayo. Mientras que para rendimientos de T de 3382,3 kg ha^{-1} (Santa Teresa) el peso de 1000 granos es de 153,1 g, niveles mayores de rendimiento, 3604,6 (N. de la Riestra), 3930,8 (Roberts) y 4769,0 kg ha^{-1} (Saladillo), se correspondieron con pesos de 1000 granos de 165,3; 169,6 y 164,4 g, respectivamente. La tendencia del incremento del peso de 1000 granos se encuentra igualmente asociada al nivel de rendimiento. Mientras que en Santa Teresa no hubo aumento de la variable, en el resto de los sitios éste osciló entre 6,5 y 10,4 gramos por cada 1000 granos. En 2 de los ensayos, los realizados en N. de la Riestra y Saladillo, el tratamiento de mayor rendimiento mostró diferencia estadísticamente significativa con el testigo en esta variable. Debe destacarse, sin embargo, que esta variable puede ser afectada por las condiciones climáticas durante el llenado del grano, aspecto que podría interactuar con la respuesta a las enmiendas. El componente de rendimiento Nº de granos/planta tuvo variaciones también disímiles entre sitios ensayados. El máximo incremento de la variable sobre el testigo estuvo comprendido entre 4,6 en el ensayo de N. de la Riestra (NS) y 34,2 granos/planta en

Saladillo. Diversos autores han mencionado que la soja es un cultivo capaz de compensar a través de cambios en los componentes de rendimiento, aspectos como bajas densidades o fallas en la siembra dentro de ciertos rangos (Carpenter & Board, 1997; Vega & Andrade, 2000, Ferraris *et al.*, 2003, Rillo *et al.*,2010). Andrade *et al.* (2002) informaron cambios entre 50-260 granos/planta en respuesta a cambios en la densidad, asociado a la tasa de crecimiento de la planta en forma lineal. Los mismos autores afirmaron que cambios en la tasa de crecimiento, en respuesta a diferentes tratamientos, afectan importantemente tanto el número de granos/planta como el peso de los mismos. El número de granos/vaina sería el componente menos variable según los mencionados autores. Estos resultados muestran que el efecto enmiendas sobre el rendimiento no puede ser explicado por su incidencia en sólo alguno de sus componentes, si no que es dable esperar efectos variables sobre ambos componentes, y esto podría estar asociado a los diferentes materiales genéticos, grupos de maduración utilizados, distancias de siembra y condiciones climáticas.

Efecto de las enmiendas sobre las propiedades edáficas a posteriori de los ensayos

Si bien el muestreo compuesto no permitió hacer evaluación estadística de los resultados en Santa Teresa, puede verse en las Tablas 2, 3 y 4, que los tratamientos produjeron valores de pH, al cabo del ensayo, sin incremento y con aumentos de hasta 0,5 unidades de pH actual y 0,4 de pH potencial como máximo, según tratamiento y capa considerada. Los niveles de pH actual de los sitios estudiados se encontraron dentro del rango de solubilización del Al^{3+}, por lo que estos incrementos de pH debido a las enmiendas permitirían superar dicho rango y por lo tanto, las posibilidades de situaciones de toxicidad, comparativamente a lo encontrado por Millán *et al.* (2010) en varios suelos del ámbito pampeano. Estos incrementos estuvieron acompañados por una tendencia al aumento de la CIC y la saturación básica (S) en los suelos de Saladillo y Norberto de la Riestra (capa superficial), y principalmente del Ca intercambiable, en forma absoluta y relativa a la suma de bases, particularmente en los suelos de Santa Teresa y Saladillo, aún en los tratamientos con dolomita, resultados coincidentes con los de Millán *et al.* (2010). Tanto los mencionados autores como Edmeades & Judd (1980) encontraron que el encalado aumenta la selectividad de Ca por sobre el Mg, aún con enmiendas dolomíticas, lo que justificaría el incremento de la saturación cálcica por sobre la magnésica. Esto aconteció también en el suelo de Saladillo de textura arenosa y muy bajos valores de CIC y Ca intercambiable, por lo que el aumento cobra especial importancia.

Los incrementos de producción en los 4 sitios experimentales mostrarían una asociación inversa con el valor de pH actual y el Ca intercambiable de los suelos respectivos. Sin embargo, las modificaciones de las propiedades químicas del suelo provocadas por los tratamientos no guardarían una asociación estricta con la respuesta en el rendimiento, confirmando la interacción compleja entre ambiente, genotipo y tecnología de cultivo.

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que en suelos de moderada a fuerte acidez edáfica del ámbito de la Pradera Pampeana, la soja responde al agregado de enmiendas básicas, particularmente en cultivos de alto potencial de rendimiento, obteniéndose incrementos de producción comparables a los obtenidos con la fertilización, fundamentalmente fosforada, uno de los nutrientes de mayor incidencia en su producción y superior a la azufrada para la mayor parte de los casos (Ferraris & Couretot, 2004; Cicore *et al.*, 2005; Ventimiglia & Carta, 2005; Blanco *et al.*, 2011). Por otro lado, la práctica se caracteriza por poseer residualidad, al menos de 2 años en este ámbito (Vázquez *et. al.*, 2010), así como sinergismo con la fertilización fosforada, particularmente en suelos deficientes en este elemento, como fuera informado por Vázquez *et al.* (2010) para el caso de la alfalfa. No podría descartarse una disminución de la disponibilidad de P en suelos de mayor provisión del nutriente. Estos hechos ponen de manifiesto que el encalado debe ser considerado en planteos productivos de esta especie en la región, en suelos que así lo ameriten, a pesar de evidenciarse la complejidad del diagnóstico y la estrategia de aplicación, lo que señala la conveniencia de la realización de un mayor número de investigaciones, particularmente sobre la residualidad de la práctica.

CONCLUSIONES

1. El agregado de enmiendas básicas en suelos de moderada a fuerte acidez actual de tipo Argiudol vértico, Hapludol éntico y Hapludol thaptoárgico ubicados en la provincias de Santa Fe y Buenos Aires, aplicadas entre 15 días y 1 año previo a los cultivos, produjo incrementos de rendimiento de soja que oscilaron entre 209,2 y 1264,0 kg ha^{-1}. Dichos incrementos se asociaron negativamente con el pH y el contenido de Ca intercambiable y positivamente con el nivel de producción, demostrando que

ambientes con menores limitaciones de otra índole son más eficientes en el uso del insumo aplicado.

2. El efecto de las enmiendas sobre el rendimiento de soja no pudo ser explicado por su incidencia en los componentes que lo definen de igual manera en todos los sitios experimentales.

3. Existió una tendencia de mayor respuesta al agregado de dolomita en relación a conchilla/caliza. Esto aconteció con concentraciones relativas de Mg intercambiable en los suelos superiores a las normales, en particular en relación a Ca intercambiable, conforme a niveles citados en la literatura. En 3 de los 4 ensayos la dosis de dolomita de mayor respuesta fue la de 2000 kg ha^{-1}. La respuesta a la adición conjunta de yeso tuvo una tendencia positiva en el suelo de menor pH y con condiciones de solubilización de Al, lo que podría ser atribuido a su comportamiento como base de Lewis.

4. La evaluación de la adición conjunta de enmienda combinada con P mostró sinergismo de la práctica en el rendimiento en un suelo de 11 mg kg^{-1} de P extractable.

5. Las enmiendas aplicadas produjeron aumentos de pH actual y pH potencial, así como de la CIC, la saturación básica en su conjunto, el Ca intercambiable en forma absoluta y relativa, particularmente de la capa superficial, en forma variable según el sitio estudiado. Los valores no tuvieron una asociación estricta con el incremento del rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

Alcarde, JC & AA Rodella. 1996. O Equivalente en carbonato de cálcio dos corretivos da acidez dos solos. *Sci Agric* 53(2-3): 204-210.

Andrade, FH; LAN Andrade; RH Aguirrezábal & RH Rizzalli. 2002. Determinación del rendimiento en girasol y soja. *IDIA* XXI, Año II (3): 102-106.

Bacigaluppo, S; J Dardanelli; G Gerster; A Quijano; M Balzarini; M Bodrero; J Andriani; J Enrico & R Martinogne. 2006. Variaciones del rendimiento de soja en el Sur de Santa Fe. Factores limitantes de clima y suelo. *Informaciones Agronómicas* INPOFOS 32: 12-15.

Barbosa Filho, MP; NK Fageria & FJ Pfeilsticker Zimmermann. 2005. Atributos de fertilidade do solo e produtividade do feijoeiro e da soja influenciados pela calagem em superfície e incorporada. *Ciênc Agrotec* 29(3): 507-514.

Bell, PF. 1996. Predicting liming needs of soybean using soil pH, aluminum and manganese soil test. *Comm soil sci plant anal* 27(13-14): 2749-2764.

Bertsch, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José de Costa Rica. 164 p.

Bertsch, PM & PR Bloom. 1996. Aluminium. Cap. 18. *In:* Methods of soil analysis. Ed. Bigham J.M. SSSA, Wisconsin, EEUU. 1390 p.

Blanco, H; M Boxler; J Minteguiaga; R Houssay; G Deza Marin; A Berardo & FO García. 2011. Red de Ensayos en Nutrición de Cultivos. Región CREA Sur de Santa Fe. Resultados de la campaña 2004/05: Soja I. http://projects.ppi-far.org/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/77d2b6f7a453492d0325704700498d84/$FILE/InfoCREASojaI-2004.pdf. Consultado 24/2.

Board, JE & AG Caldwell. 1991. Response of determinate soybean cultivars to low pH soils. *Plant and Soil* 132: 289-292.

Bordoli, JM & ON Casanova. 2004. Encalado de soja en el NE de Uruguay. Resúmenes del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: II Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos. Paraná; Entre Ríos; 22 al 25 de junio de 2004, p184. Trabajo completo en CD-room.

Bordoli, JM. 2005. Encalado de alfalfa E. Chana. Simposio Binacional Impacto de la Intensificación Agrícola en el Recurso Suelo. Actas 1° Reunión Uruguaya de la Ciencia del Suelo. Colonia del Sacramento, Uruguay, 6-7/10. CD-room.

Caires EF; FJ Garbuio; S Churra; G Barth & JCL Correa. 2008(a). Effects of soilacidity amelioration by surface living on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. *Eur J Agron* 28: 57-64.

Caires EF; PRS Pereira Filho; R Zardo Filho & IC Feldhaus. 2008(b). Soil acidity and alumnium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. *Soil Use and Management* 24(3): 302-309.

Caires, EF; J Blum; G Barth; FJ Garbuio & MT Kusman. 2003. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. *R Brás Ci Solo* 27(2): 275-286.

Caires, EF; WA Chueiri; EF Madruga & A Fuigueiredo. 1998. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. *R Bras Ci Solo* 22: 27-34.

Carpenter AC & JE Board. 1997. Branch yield components controlling soybean yield satability across plant populations. *Crop Sci* 37: 885-891.

Casanova, O. 2010. Respuesta al encalado en soja y alfalfa en suelos lixiviados y/o desaturados del Uruguay. Inédito. Montevideo, Uruguay.

Casas, R. 2000. La conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas. Disertación en el acto de entrega del premio Antonio Prego. www.insuelos.org.ar. Consultado 12/11/2010. http://www.inta.gov.ar/suelos/actualidad/conferencias/Disertacion_R_Casas.htm

Cicore, PL; HR Sainz Rozas; HE Echeverría & PA Barbieri. 2005. Respuesta del cultivo de soja al agregado de azufre en función de la disponibilidad hídrica y del sistema de labranza. *RIA* 34(1): 57-74.

Cruzate, G & R Casas. 2003. Balance de nutrientes. *Revista fertilizar* INTA año 8. Número Especial «Sostenibilidad». pp 7-13

Edmeades DC & MJ Judd. 1980. The effects of lime on the magnesium status and equilibria in some New Zealand topsoils. *Soil Sci* 129: 156-161.

Evans, CE & EJ Kamprath. 1970. Lime response related to percent. Al saturation solution Al and organic matter content. *Soil Sci Soc Am Proc* 34(6): 893-896.

Ferraris, G & L Couretot. 2004. Fertilización fosforada en soja. Diagnóstico y tecnología de aplicación. *Revista de Tecnología Agropecuaria,* EEA INTA Pergamino, IX (26): 46-49.

Ferraris, G; N González & A Rivoltella. 2003. Densidad y distribución de plantas en soja: ¿en qué caso es conveniente resembrar? INTA Pergamino. *Revista de Tecnología Agropecuaria*: 25-32.

Gambaudo, S & H Micheloud. 2003. Momento de aplicación de una dolomita para corregir la acidez edáfica. Anuario 2002. INTA. www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/anuario2002. Consultado 10/10/2010.

Gambaudo, S; L Picco; A Cervetti & P Soldano. 2007. Encalado en soja. Experiencias de la campaña 2006/07. Información Técnica Cultivos de Verano, Campaña 2007. EEA Rafaela, INTA. p. 183-184.

Gelati, P & M Vázquez. 2008. Extracción agrícola de bases en el N de la provincia de Buenos Aires, Argentina: costo de su remediación e implicancias económicas. *Rebivec* 7: 117-129.

González, B & S Gambaudo. 2003. Encalado en Soja. Experiencias en restitución de Calcio magnesio y azufre. Proyecto Fertilizar. INTA. www.fertilizar.org.ar. Consultado 23/11/2010.

Gutierrez Boem, F & J Scheiner. 2005. Soja. *En:* Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed. H Echeverría y F García. INTA, Cap.13: 283-300. 525 p.

Hashimoto, Y; J Smith; D Hesterberg & DW Israel. 2007. Soybean root growth in relation to ionic composition in magnesium amended acid subsoils: implications on root citrate ameliorating aluminum constraints. *Soil Sci and Plant Nutr* 53(6): 753-763.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 1988. Carta de suelos 3360-13-14. Cañada de Gómez y Rosario. Argentina.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).1990. Carta de Suelos 3560-28-3. Saladillo. Argentina.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).1993. Carta de Suelos 3563-24. Roberts. Argentina.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).1997. Carta de Suelos 3560-22-3. Norberto de la Riestra. Argentina.

Kass DCL. 2007. Fertilidad de suelos. Ed. Universidad a distancia (EUNED), 2° reimpresión, 1° ed. Costa Rica. 233 p.

Martínez, F. 2002. La soja en la Región Pampeana. *IDIA* , año II, n° 3.

Mendenhall, W; R Scheaffer & D Wackerly. 1986. Estadística matemática con aplicaciones. Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, California, USA. 751 p.

Millán, G; M Vázquez; A Terminiello & D Santos Sbuscio. 2010. Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana. *Ciencia del Suelo* 28(2): 131-140.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina). 2010. Estadísticas Agropecuarias. www.minagri.gob.ar. Consultado el 5/12/2010.

Toma, M; S Hiradate & M Saigusa. 1999. Chemical species of Al in a gypsum-treated Kitakami Andosol. Direct analysis of Al adsorbed on cation exchange resin using 27Al NMR. *Soil Sci Plant Nutr* 45(2): 279-285.

Oliveira, EL & MA Pavan. 1994. Redução da acidez do solo pelo uso de calcário e gesso e resposta da soja cultivada em plantio direito. *In*: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. 21. Pretolina. Anais. Petrolina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/EMBRAPA-CPTASA, p.178. CD-room.

Pierce, FJ & DD Warncke. 2000. Soil and crop response to variablerate liming for two Michigan fields. *Soil Sci Soc Am J* 64(2): 774-780.

Randall, PJ; RC Abaidoo; PJ Hocking & N Sanginga. 2006. Mineral nutrient uptake and removal by cowpea, soybean, and maize cultivars in West Africa and implications for carbon cycle effects on soil acidification. *Exp Agr* 42(4): 475-494.

Rhoads, FM & A Manning. 1989. Soybean, corn and wheat yields with variable soil pH on Plinthic Acrisols. *Fert Res* 19(3): 137-142.

Rillo; S; P Richmond & M Mazzei. 2010. Intensificación de cultivos de granos: evaluación del sistema de intersiembra de trigo-soja sobre el rendimiento físico y económico, eficiencia del uso del agua y los componentes determinantes del rendimiento. http://www.ipni.net/ppiweb, consultado el 6/12/2010.

Rosolem, CA. 1984. Nutrição mineral e adubação da soja. Boletín Técnico 6. 3° Ed. Associação Brasileira para Pesquisa da Potasa e do Fosfato. Brasil. 80p

SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina). Dirección de Producción Agrícola.2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos (SAMLA). CD-rom. Buenos Aires. Argentina.

Schoeneberger, PJ; DA Wysocky; EC Benham & WD Broderson. 2000. Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos. Versión 1.1. Instituto de Suelos, Centro de Recursos Naturales, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina. Traducción al español del «Field Book for Describing and Sampling Soils», 1998. Centro Nacional de Relevamiento de Suelos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Dto. de Agricultura EEUU, Lincoln, Nebraska 9 (10) 235 p.

Vázquez, M. 2007. Calcio y Magnesio del suelo. Encalado y enyesado. *En*: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed. Echeverría H., García F. INTA, 2° reimpresión. 1° Ed. Cap. 8: 181-188. 525 p.

Vázquez, M. 2010. Calcio y magnesio del suelo. Dinámica en el suelo. Diagnóstico y fertilización. *En:* Fertilidad del suelo. Diagnóstico y manejo en la Región Pampeana. Ed. Rubio G., Álvarez R., C. Álvarez y R. Lavado. FAUBA. Buenos Aires. Cap. 4: 371-394. 423 p.

Vázquez, ME; E Baridon; J Lanfranco & G Malagrina. 2000. Evaluación de la potencialidad de la problemática de acidez en la región norte de la provincia de Buenos Aires. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 11-14 abril, Mar del Plata, Argentina. CD-room.

Vázquez, M; A Terminiello; A Casciani; G Millán; P Gelati; F Guilino; J García Díaz; J Kostiria J & M García. 2010. Influencia del agregado de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (*Medicago sativa* l.) en ámbitos templados argentinos. Ciencia del Suelo 28 (2): 141-154.

Vega, CR & FH Andrade. 2000. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. *En:* Bases para el manejo del maíz, girasol y soja. Eds. F.H. Andrade & V.O. Sadras. EEA INTA Balcarce, Facultad Ciencias Agrarias UNMP: 97-133.

Ventimiglia, L & H Carta. 2005. Soja: efecto de los fertilizantes aplicados en la línea de siembra sobre el número de plantas y el rendimiento Informaciones Agronómicas diciembre: 23-25.

Weisz, R; J White; B Knox & L Reed. 2003. Long-term variable rate lime and phosphorus application for Piedmont no-till field crops. *Precision Agric* 4(3): 311-330.

Zapata Hernández, R. 2004. Química de la acidez del suelo. Cali, Colombia. 208 p.